

K_1 和 $K_2 \rightarrow$ 称量 A. 重复上述操作步骤, 直至 A 恒重, 记为 m_3g 。

③根据实验记录, 计算草酸亚铁晶体中结晶水数目 $x = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

答: $\frac{8(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)}$

分析: $m(FeC_2O_4) = m_3 - m_1g$, $m(H_2O) = (m_2 - m_3)g$, $n(FeC_2O_4) : n(H_2O) = \frac{(m_3 - m_1)g}{144g/mol} : \frac{(m_2 - m_3)g}{18g/mol} = 1 : x$, $x = \frac{8(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)}$ 。

【典例 3】某同学设计实验确定 $Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ 的结晶水数目。将 $Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ 加热发生反应 $4Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O = 12NO_2 \uparrow + 3O_2 \uparrow + 2Al_2O_3 + 4xH_2O$, 测得生成 $3.24gH_2O$ 和 $336mLO_2$ (标准状况)。则 x 等于 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

答: 9

分析: $3.24gH_2O$ 的物质的量为 $\frac{3.24g}{18g/mol} = 0.18mol$, 标准状况下 $336mLO_2$ 的物质的量为 $\frac{0.336L}{22.4L/mol} = 0.015mol$, 根据

化学方程式可知, 反应生成的 O_2 与 H_2O 的物质的量之比为 $4x : 0.18$, 解得 $x = 9$ 。

【典例 4】某同学设计实验确定 $Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ 的结晶水数目。称取样品 $7.50g$, 经热分解测得气体产物有 NO_2 、 O_2 、 HNO_3 、 H_2O , 其中 H_2O 的质量为 $3.06g$; 残留的固体产物是 Al_2O_3 , 质量为 $1.02g$, $x = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

答: 9

分析: 气体产物中 $n(H_2O) = \frac{3.06g}{18g/mol} = 0.17mol$, 根据固体产物氧化铝的质量为 $1.02g$, 可知样品中

$n(Al) = 2n(Al_2O_3) = \frac{1.02g}{102g/mol} \times 2 = 0.02mol$, $Al(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ 的摩尔质量为 $(213 + 18x)g/mol$, 则 $\frac{7.50g}{(213 + 18x)g/mol} = 0.02mol$,

解得 $x = 9$, 即该物质的化学式为: $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 。

【典例 5】为测定绿矾中结晶水含量, 称量绿矾晶体 $a g$ 于石英玻璃管, 在 N_2 氛围中加热至恒重再冷却至室温后称量, 固体质量为 $b g$, 计算绿矾化学式中结晶水数目为 $\underline{\hspace{2cm}}$ (列式表示)。

答: $\frac{76(a - b)}{9b}$

分析: 根据方程式变化特点可知, 反应以后, 质量减轻, 减少的质量为水的质量, 列式计算:

$$FeSO_4 \cdot xH_2O = FeSO_4 + xH_2O$$

$$\frac{152 + 18x}{ag} = \frac{152}{(a - b)g}, \quad \frac{152 + 18x}{18x} = \frac{a}{(a - b)}, \quad \text{解得 } x = \frac{152(a - b)}{18b} = \frac{76(a - b)}{9b}。$$

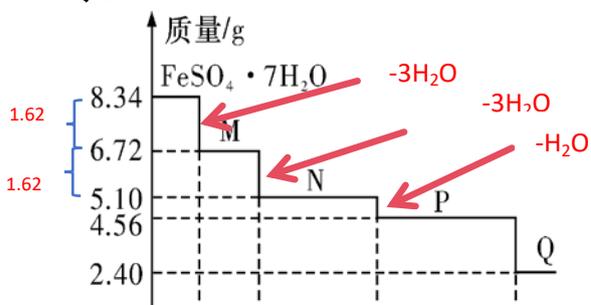
3. 热重曲线——结晶水不会一次全部失去 (极限思维法)

例: 隔绝空气条件下, $8.34 g FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 样品受热分解过程的热重曲线(固体的质量随温度变化的曲线)如下图所示。

解答过程:

① $n(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = \frac{m}{M} = 8.34g \div 278g \cdot mol^{-1} = 0.03mol$

② 失去全部水: $n(水) = 0.21mol$



8. 34g-3. 78g=4. 56g

③脱水极限: $m(\text{水})=0. 21\text{mol} \times 18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}=3. 78\text{g}$,

④每份水质量: $3. 78\text{g} \div 7=0. 54\text{g}$

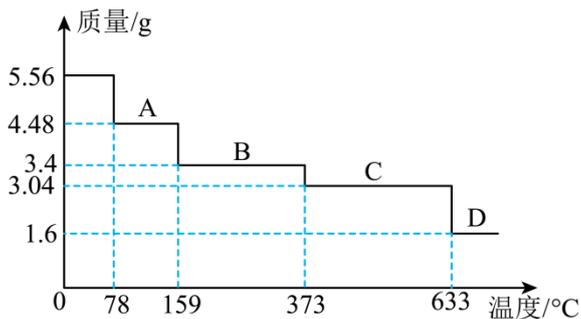
回答:

(1) 温度为 78~159℃阶段, 固体物质 M 的化学式为_____ ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

(2) 温度为 159~373℃阶段, 固体物质 N 的化学式为_____ ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

(3) 由固体 N 转化为固体 P 的化学方程式为_____ ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$)

【典例 6】5.56g 绿矾($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)受热分解的热重曲线如图所示。则物质 A 的化学式为_____。

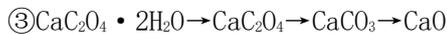
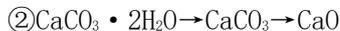
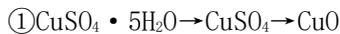


答: $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

【进阶】含结晶水晶体热分解一般规律:



例:



【典例 7】隔绝空气条件下, 8. 34 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 样品受热分解过程的热重曲线(固体的质量随温度变化的曲线)如下图所示。

解答过程:

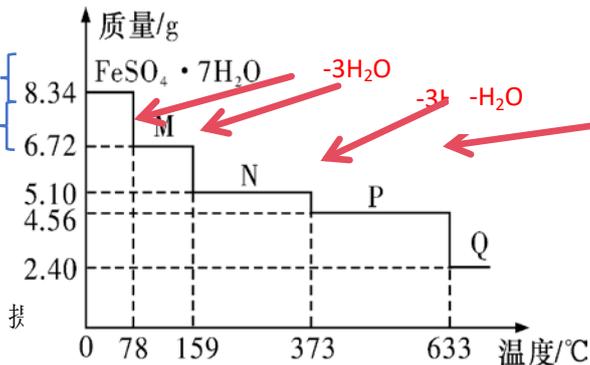
①金属守恒: $n(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Fe}) = 0. 03\text{mol}$

②金属质量: $m(\text{Fe}) = 0. 03\text{mol} \times 56\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 1. 68\text{g}$

③ FexOy : $m(\text{O}) = 2. 4\text{g} - 1. 68\text{g} = 0. 72\text{g}$

④ $n(\text{O})$: $0. 72\text{g} \div 16\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0. 045\text{mol}$

⑤ x : $y = 0. 03\text{mol} \div 0. 045\text{mol} = 2: 3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$



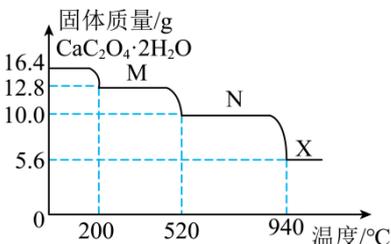
答: $2\text{FeSO}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2 \uparrow + \text{SO}_3 \uparrow$

【典例 8】菠菜是一种营养丰富的蔬菜, 菠菜里面含有较多草酸, 使其带有涩味, 还能与人体内的钙结合形成草酸钙结石从而影响人体健康。草酸钙晶体($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)在隔绝空气条件下受热分解过程的热重曲线(剩余固体质量随温度变化的曲线)如图所示。

解答过程:

① $n(\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = 16. 4\text{g} \div 164\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0. 1\text{mol}$

②失去全部水: $n(\text{水}) = 0. 2\text{mol}$



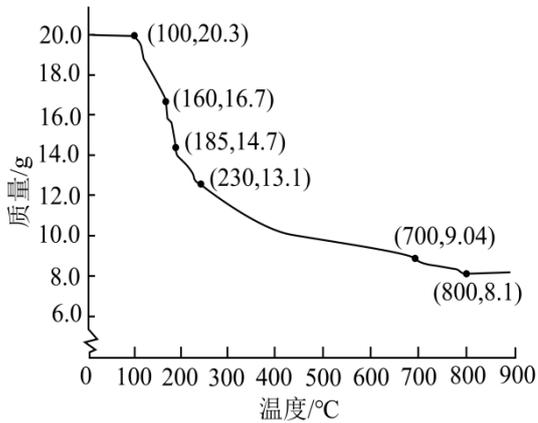
③脱水极限: $m(\text{水})=0.2\text{mol}\times 18\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}=3.6\text{g}$, $16.4\text{g}-3.6\text{g}=12.8\text{g}$

问: M: _____ N: _____ X: _____

答: CaC_2O_4 CaCO_3 CaO

分析: 温度在 $200\sim 520^\circ\text{C}$ 阶段, 反应的化学方程式为 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCO}_3 + \text{CO}\uparrow$, N 为 CaCO_3 , 温度在 $520\sim 940^\circ\text{C}$ 阶段, 反应的化学方程式为 $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{CO}_2$, X 为 CaO 。

【典例 9】六水合氯化镁($\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$)又称水氯石、结晶氯化镁, 是冶炼金属镁的重要原料。 $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的热重曲线如图所示:



解答过程:

① $n(\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = 20.3\text{g} \div 203\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} = 0.1\text{mol}$

②失去全部水: $n(\text{水}) = 0.6\text{mol}$

③脱水极限: $m(\text{水}) = 0.6\text{mol} \times 18\text{g}\cdot\text{mol}^{-1} = 10.8\text{g}$, $20.3\text{g} - 10.8\text{g} = 9.5\text{g}$

④每份水质量: $10.8\text{g} \div 6 = 1.8\text{g}$

已知: 230°C 时剩余物质的化学组成为 $\text{MgCl}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$; 700°C 时生成的气体能使湿润的蓝色石蕊试纸变红。

下列说法错误的是

- A. $100\sim 160^\circ\text{C}$ 和 $160\sim 230^\circ\text{C}$ 失去结晶水的质量之比为 1:1
- B. 185°C 时, 固体物质中只有一部分是 $\text{MgCl}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- C. 从 230°C 加热至 800°C , 有 HCl 气体生成
- D. 800°C 后, 固体质量不再发生变化, 说明剩余的固体是纯净物

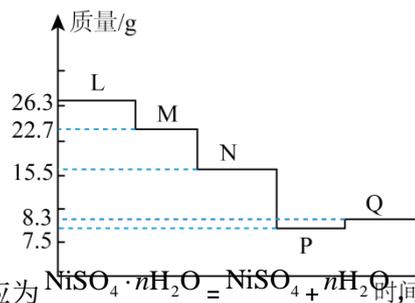
答: D

分析: $100\sim 160^\circ\text{C}$ 阶段, $20.3\text{g} - 16.7\text{g} = 3.6\text{g}$, 失去两份水; $160\sim 230^\circ\text{C}$ 阶段, $16.7\text{g} - 13.1\text{g} = 3.6\text{g}$, 失去两份水, 故失去结晶水的质量相同, 为 1:1, A 正确; 由解析 A 可知, (160, 16.7) 为 $\text{MgCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 若失去三份水, $\text{MgCl}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 质量为 $16.7\text{g} - 1.8\text{g} = 14.9\text{g}$, 而 (230, 13.1) 为 $\text{MgCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 则 185°C 固体物质中只有一部分是 $\text{MgCl}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 还有一部分是 $\text{MgCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。根据已知条件, 700°C 时生成的气体能使湿润的蓝色石蕊试纸变红, C 正确; 根据镁元素守恒, 金属守恒: $n(\text{MgCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Mg}) = 0.1\text{mol}$, $m(\text{Mg}) = 2.4\text{g}$, 若全为 MgO , $m(\text{MgO}) = 4\text{g}$, 不符合; 若全为 MgCO_3 , $m(\text{MgCO}_3) = 8.4\text{g}$, 不符合; 若全为 $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$, $m[\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}] = 7.65\text{g}$, 不符合, 则说明剩余固体是混合物。

【典例 10】将 $26.3\text{g NiSO}_4\cdot n\text{H}_2\text{O}$ 样品在 900°C 下煅烧, 样品受热过程的热重曲线(样品质量随温度变化的曲线)如图所示。已知: L \rightarrow N 时失掉全部的结晶水。下列说法错误的是

- A. $n = 6$
- B. 固体 M 的化学式为 $\text{NiSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- C. 生成固体 P 时, 样品的失重率约为 71.5%
- D. 固体 Q 的化学式为 NiO

答: D



分析: A. L \rightarrow N 时失掉全部的结晶水, 则分解反应为 $\text{NiSO}_4\cdot n\text{H}_2\text{O} = \text{NiSO}_4 + n\text{H}_2\text{O}$ 根据图像可知, L \rightarrow N 剩余固体

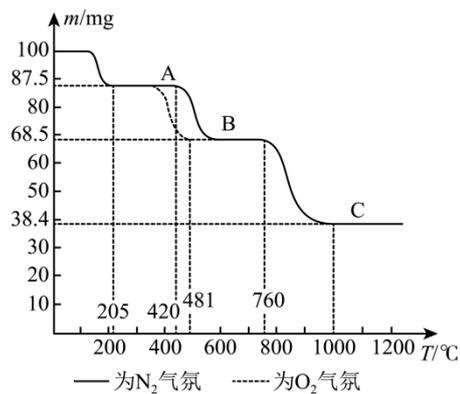
NiSO_4 质量是 15.5, 失去结晶水的质量是 $26.3-15.5=10.8$, 则根据 $\text{NiSO}_4 \sim n\text{H}_2\text{O}$ 建立等式, $\frac{155}{15.5} = \frac{18n}{10.8}$, 解得 $n=6$,

A 项正确; B. $L \rightarrow M$ 时失掉结晶水的质量是 3.6g, 则失去 2 个结晶水, 则固体 M 的化学式为 $\text{NiSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, B 项正

确; C. 失重率等于固体失去的质量与原固体质量的比值, 则生成固体 P 时, 样品的失重率 = $\frac{26.3-7.5}{26.3} \times 100\% \approx 71.5\%$,

C 项正确; D. $N \rightarrow P$ 失重后, 根据质量比例, 可知发生的反应是 $\text{NiSO}_4 = \text{NiO} + \text{SO}_3 \uparrow$, NiSO_4 的摩尔质量是 155, NiO 的摩尔质量是 75, 所以 $P \rightarrow Q$ 固体质量上升, 应该是 NiO 被氧化得到 NiO_2 , D 项错误。

【典例 11】如图为 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 在 N_2 和 O_2 气氛中的热重曲线(样品质量随温度变化的曲线)。下列有关说法错误的是



A. x 的值为 1

B. 物质 A 为 CaC_2O_4 、 CaC_2O_4 在隔绝空气条件下, 420°C 以下热稳定, 不会分解

C. $800^\circ\text{C}-1000^\circ\text{C}$ 氮气气氛中的反应为 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCO}_3 + \text{CO} \uparrow$

D. 无论是 O_2 气氛还是 N_2 气氛, 当 1 个 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 最终转变为 C 时, 转移电子的个数不同

答: C

分析: A. 第 1 步质量由 100mg 减小到 87.5mg, 该反应为 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 失去结晶水生成 CaC_2O_4 , 根据质量守恒定

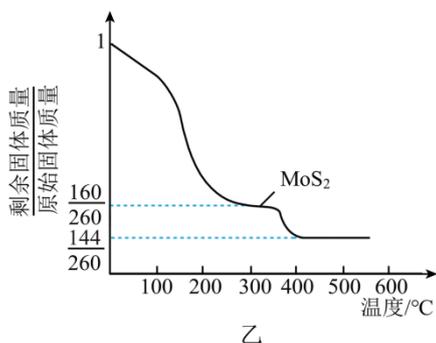
律有 $\frac{128+18x}{128} = \frac{100\text{mg}}{87.5\text{mg}}$, 解得 $x=1$, A 正确; B. 420°C 以下氮气气氛中, A 的质量随温度升高保持不变, 说明 420°C

以下 CaC_2O_4 在隔绝空气条件下, 较稳定, 不会分解, B 正确; C. 由分析可知, $800^\circ\text{C}-1000^\circ\text{C}$ 氮气气氛中的反应

高温

为 $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$, C 错误; C 为 CaO , O_2 气氛中 1 个 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 最终转变为 1 个 H_2O 、1 个 CaO 和 2 个 CO_2 , 电子转移 2 个, 在 N_2 气氛中, 1 个 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 最终转变为 1 个 H_2O 、1 个 CaO 、1 个 CO_2 和 1 个 CO , 电子转移 1 个, 转移电子的个数不同, D 正确。

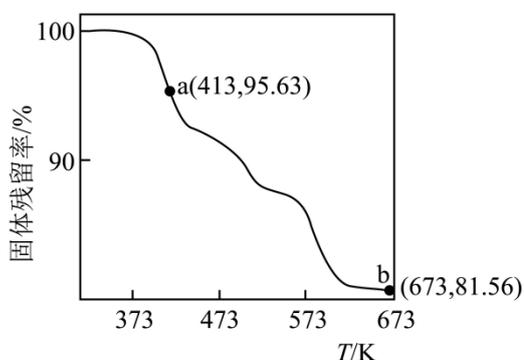
【典例 12】将 $(\text{NH}_4)_2\text{MoS}_4$ 在空气中加热, 其热重曲线如图乙所示, 在 $450\sim 550^\circ\text{C}$ 时, 所得到固体氧化物的化学式为_____。



答: MoO_3

分析: 由图可知, 在 $450\sim 550^\circ\text{C}$ 时, 反应为 $\text{MoS}_2 + \frac{x+4}{2}\text{O}_2 = \text{MoO}_x + 2\text{SO}_2$, 且每 160g MoS_2 能生成 144g MoO_x , 质量减少 16g , 即 $64-16x=16$, $x=3$, 得到固体氧化物的化学式为 MoO_3 。

【典例 13】 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 的热重曲线如图所示。



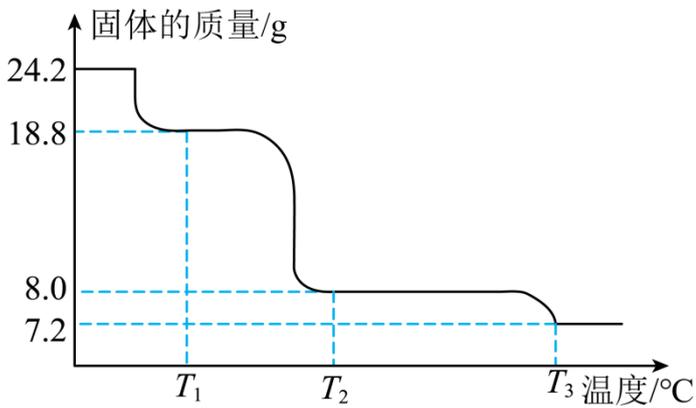
已知 413K 时样品失重的原因是失去了 H_2O , 则 $1\text{ mol}(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 在 a 点失去 H_2O 的物质的量为_____；图中 b 点对应固体残留物是_____ (填化学式)。

答: 3 mol MoO_3

分析: 分析 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 的热重曲线, 从热重曲线可知, 在 413K 时, 质量分数变为 95.63% , 说明此时失去了部分结晶水; 在 673K 时, 质量分数变为 81.56% , 说明此时失去了剩余的结晶水和铵根分解产生的物质。若固体样品有 $1\text{ mol}(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $1\text{ mol}(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 的质量是 1236 g , 设 a 点时该物质加热失去水的物质的量为 x , 则 $\frac{18x}{1236} = 1 - 0.9563 = 0.0437$, 解得 $x = 3\text{ mol}$; b 点时 1 mol 固体质量减轻 $\Delta m = 1236\text{ g} \times (1 - 0.8156) = 228\text{ g}$, 铵

盐受热分解产生 6 mol NH_3 , 共产生 H_2O 的物质的量为 $n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{228\text{g} - 6\text{mol} \times 17\text{g/mol}}{18\text{g/mol}} = 7\text{ mol}$, 根据元素守恒分析可知: H 元素完全变为气体逸出, 固体中剩余 O 元素的物质的量 $n(\text{O}) = (24+4)\text{mol} - 7\text{ mol} = 21\text{ mol}$, 则 $n(\text{Mo}): n(\text{O}) = 7\text{ mol}: 21\text{ mol} = 1: 3$, 故 b 点对应固体物质化学式是 MoO_3 。

【典例 14】将 $24.2\text{g Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 样品置于瓷坩埚中缓慢加热, 其热重曲线(样品质量随温度变化的曲线)如图所示。在 $T_1^\circ\text{C} \sim T_2^\circ\text{C}$ 过程中有黑色固体和红棕色气体产生, 反应的化学方程式为_____。继续升温至 $T_3^\circ\text{C}$ 时生成的固体产物为_____ (填化学式)。

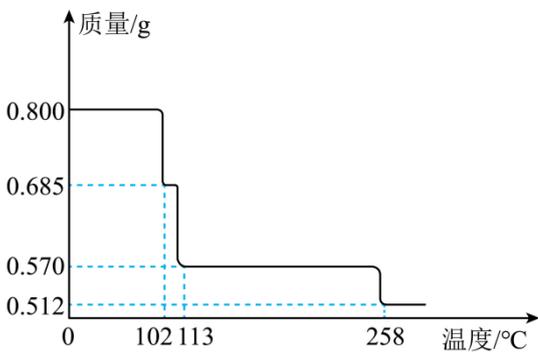


答: $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\Delta} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$ Cu_2O

分析: $24.2\text{gCu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 样品中 $n(\text{Cu}) = \frac{24.2\text{g}}{242\text{g/mol}} = 0.1\text{mol}$, 在 $T_1^\circ\text{C} \sim T_2^\circ\text{C}$ 过程中有黑色固体和红棕色气体产生, 固体质量从 18.8g 降低至 8.0g , 则剩余固体为 $\text{CuO}(0.1\text{mol} \times 80\text{g/mol} = 8.0\text{g})$, 同时有 NO_2 生成, 反应方程式为:

$2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\Delta} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$; 加热到 $T_3^\circ\text{C}$ 时 CuO 又分解, 根据铜元素守恒, 最终生成 Cu_2O ($0.05\text{mol} \times 144\text{g/mol} = 7.2\text{g}$)。

【典例 15】将 $0.80\text{g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 样品受热脱水过程的热重曲线(样品质量随温度变化的曲线)如右图所示。



①由图中可以看出, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 分解的最低温度是_____。

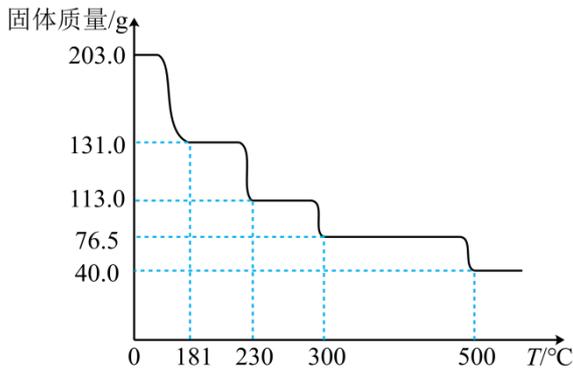
②试通过计算确定 238°C 时固体物质的化学式_____。

答: 102°C $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

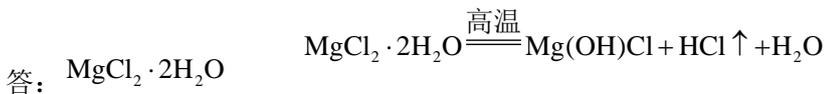
分析: ①从热重曲线可以看出, 在 102°C 时样品质量开始下降, 说明 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 从此时开始分解, 所以

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 分解的最低温度是 102°C ; ② $0.80\text{g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的物质的量为 $n = 0.80/250 = 0.0032\text{mol}$, 其中 $n(\text{CuSO}_4) = 0.0032\text{mol}$, $n(\text{H}_2\text{O}) = 0.0032 \times 5 = 0.016\text{mol}$ 。在 238°C 时, 固体质量为 0.570g , 失去水的质量为 $0.80\text{g} - 0.570\text{g} = 0.23\text{g}$, 失去水的物质的量为 $n_{\text{失}}(\text{H}_2\text{O}) = 0.23/18 \approx 0.0128\text{mol}$ 。此时剩余水的物质的量为 $n_{\text{剩}}(\text{H}_2\text{O}) = 0.016\text{mol} - 0.0128\text{mol} = 0.0032\text{mol}$ 。 $n(\text{CuSO}_4) : n_{\text{剩}}(\text{H}_2\text{O}) = 0.0032\text{mol} : 0.0032\text{mol} = 1 : 1$, 所以 238°C 时固体物质的化学式为 $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

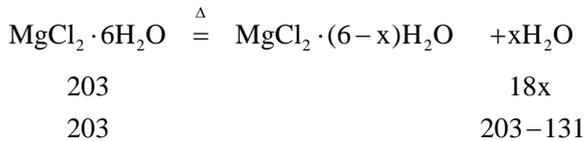
【典例 16】某实验小组对 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 进行热重曲线分析:



分析181°C时固体产物的化学式为_____。写出从181°C加热到300°C时生成固体产物（一种含镁的碱式盐）的化学方程式_____。



分析: 203g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 中 MgCl_2 的质量为 95g, 0~181°C 失去结晶水, 发生反应

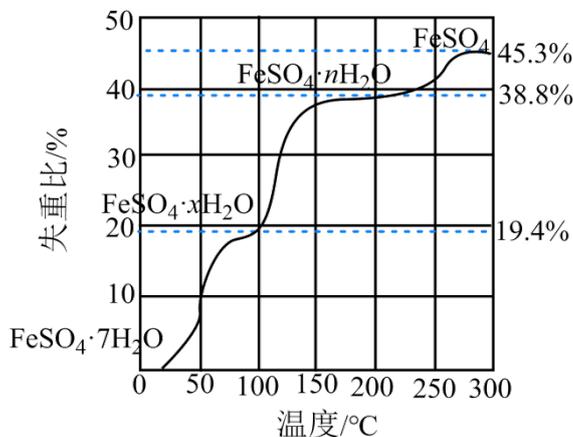


$x=4$, 所以181°C时固体产物的化学式为 $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 300°C时生成固体产物（一种含镁的碱式盐）, 设产物化学式为 $\text{Mg}(\text{OH})_x \text{Cl}_{2-x}$, 300°C时生成固体产物的质量为 76.5g, 含有 1mol Mg^{2+} 、xmol OH^- 、(2-x)mol Cl^- , 则 $17x+35.5(2-x)=76.5-24$, $x=1$, 即300°C时生成固体产物的化学式为 $\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}$, 从181°C加热到300°C时,



【典例 17】为探究绿矾的分解过程, 通过热重实验得到如下曲线。当失重比为 19.4%时, 图中 $x=$ _____。(已知:

$$\text{失重比} = \frac{\text{固体减少质量}}{\text{起始固体质量}} \times 100\%$$

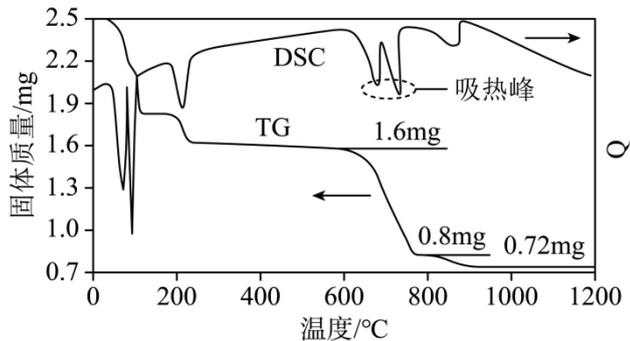


答: 4

分析：根据公式：
$$\text{失重比} = \frac{\text{固体减少质量}}{\text{起始固体质量}} \times 100\%$$
，即 $\frac{278 - (152 + 18x)}{278} \times 100\% = 19.4\%$ ，解得 $x=4$ 。

【典例 18】我国古籍记载了硫酸的制备方法-“炼石胆(CuSO₄·5H₂O)取精华法”。

①借助现代仪器分析，该制备过程中 CuSO₄·5H₂O 分解的 TG 曲线(热重)及 DSC 曲线(反映体系热量变化情况，数值已省略)如图所示。700°C 左右有两个吸热峰，则此时分解生成的氧化物有_____、_____ (填化学式)和 SO₂。



答：CuO SO₃

分析：①根据图示的热重曲线所示，在 700°C 左右会出现两个吸热峰，说明此时 CuSO₄ 发生热分解反应，从 TG 图像可以看出，质量减少量为原 CuSO₄ 质量的一半，说明有固体 CuO 剩余，还有其他气体产出，此时气体产物为

700°C

SO₂、SO₃、O₂，可能出现的化学方程式为 $3\text{CuSO}_4 \xrightarrow{700^\circ\text{C}} 3\text{CuO} + 2\text{SO}_2\uparrow + \text{SO}_3\uparrow + \text{O}_2\uparrow$ ，结合反应中产物的固体产物质量和气体产物质量可以确定，该反应的产物为 CuO、SO₂、SO₃、O₂，故答案为：CuO；SO₃。

二、实验评价

(1) 原理评价：

原料易得成本低，简单方便流程短。
环境友好纯度高，减损增产可循环。

(2) 装置评价：

除水除杂除尾气，防水防堵防倒吸。

注：常见尾气处理：CO、SO₂、H₂、Cl₂、NH₃ 等

(3) 装置改进模板：在 xx 之间加一个装有 xx 的 xx。

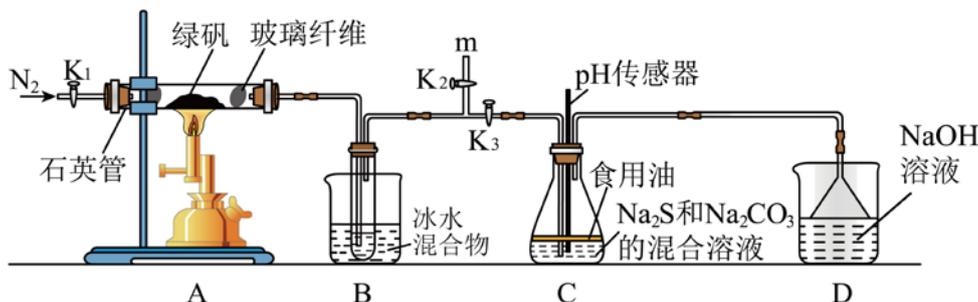
【典例 19】许多厂家会在质检报告中提供热分析数据，最常见即热重分析法(TGA)。只要物质受热时会有组分逸出而引发质量的变化，都可以用热重分析来研究。某小组用工业废铜焙烧得到的 CuO(杂质为氧化铁及泥沙)为原料与稀硫酸反应制备胆矾，并利用热重分析测定其结晶水的含量。已知：胆矾(CuSO₄·5H₂O)易溶于水，难溶于乙醇。

1. 将 CuO 加入到适量的稀硫酸中，加热，与直接用废铜和浓硫酸反应相比，该方法的优点是_____。

答：不产生污染性气体(或避免生成 SO₂，环保)

【典例 20】硫代硫酸钠(Na₂S₂O₃)可用作分析试剂及还原剂，受热、遇酸均易分解。回答下列问题：

I. 某学习小组用如图装置利用绿矾受热分解生成的 SO₂ 气体制备硫代硫酸钠。



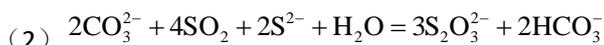
已知：①绿矾（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ）受热分解产生 Fe_2O_3 ；② SO_3 的沸点为 44.8°C 。

(1)完成实验操作过程：连接装置，检查装置气密性，加入药品（ Na_2S 和 Na_2CO_3 混合溶液，用煮沸过的蒸馏水配制），使所有活塞处于关闭状态。开始制备，打开某些活塞，通入一段时间 N_2 ；关闭活塞_____，打开活塞_____，加热绿矾；使用 pH 传感器始终观测 C 处溶液的 pH，pH 为 7~8 之间时停止加热，同时关闭活塞 K_3 ；....._____、_____（填写具体操作）、过滤、洗涤、干燥得到 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 晶体。

(2)写出锥形瓶中发生反应的离子方程式：_____。

(3)装置 B 的作用为_____；该装置存在一个明显的缺点_____。

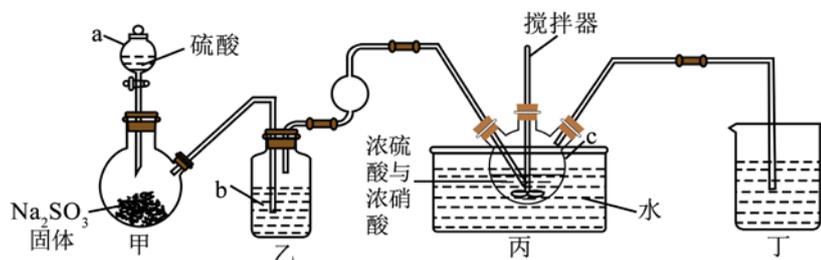
答：(1) K_1 K_2 K_3 水浴加热浓缩 冷却结晶



(3) 除去 SO_3 ，使 SO_3 与 SO_2 分离 m 处无尾气处理装置

分析：(1) 由题给信息可知，制备硫代硫酸钠的实验操作过程为：连接装置，检查装置的气密性，向锥形瓶中加入用煮沸过蒸馏水溶解配制的硫化钠和碳酸钠的混合溶液，为防止空气中的氧气氧化绿矾和硫化钠，加热前打开活塞 K_1 、 K_2 ，关闭活塞 K_3 ，通入一段时间氮气，排尽装置中的空气后，关闭活塞 K_1 、 K_2 ，打开活塞 K_3 ，加热绿矾，为防止酸性条件硫代硫酸钠分解，实验时使用 pH 传感器始终观测 C 处溶液的 pH，在溶液 pH 在 7~8 之间时停止加热，同时关闭活塞 K_3 制得硫代硫酸钠溶液；将锥形瓶用热水浴浓缩至水层表面出现结晶为止，经过冷却结晶、过滤、洗涤、干燥得到硫代硫酸钠晶体，故答案为：检查装置气密性； K_1 、 K_2 ； K_3 ；水浴加热浓缩；冷却结晶；(2) 由分析可知，锥形瓶中发生的反应为碱性条件下二氧化硫与碳酸钠和硫化钠的混合溶液反应生成硫代硫酸钠和碳酸氢钠，反应的离子方程式为 $2\text{CO}_3^{2-} + 4\text{SO}_2 + 2\text{S}^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 3\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 2\text{HCO}_3^-$ ；(3) 由分析可知，装置 B 中的冰水混合物用于冷凝三氧化硫，使三氧化硫和二氧化硫分离得到二氧化硫；缺陷是 m 出口排出的气体可能会污染环境，应连接一个尾气处理装置，故答案为：除去 SO_3 ，使 SO_3 与 SO_2 分离；m 处无尾气处理装置。

【典例 21】亚硝基硫酸(NOSO_4H)广泛应用在染料、医药等行业，是一种蓝紫色液体，遇水生成硫酸、硝酸和 NO ，工业上通常用硫酸、硝酸和 SO_2 进行制备。某实验小组同学设计的实验室制备装置如图所示。



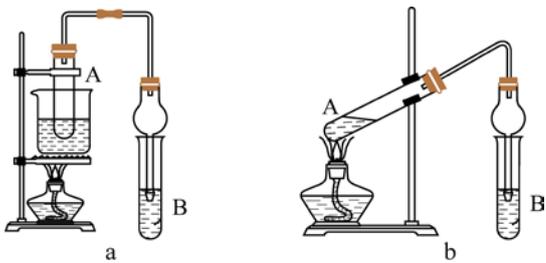
(6) 指出该实验制备装置的一个缺点：_____。

答：丙和丁之间缺少干燥装置，丁中水蒸气会进入丙中

分析：由于亚硝基硫酸“遇水生成硫酸、硝酸和 NO ”，所以应在丙、丁装置间增加干燥装置，以防水蒸气进入丙装置中干扰反应，故该准备装置的缺点是丙和丁之间缺少干燥装置，丁中水蒸气会进入丙中。

【典例 22】酯类物质具有广泛的应用价值，在药物、燃料、香料等工业领域均有重要应用。

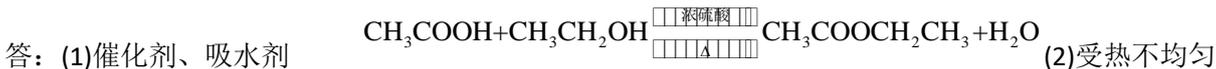
I. 在中学化学实验室里常用下图装置来制备乙酸乙酯的粗品。(部分夹持仪器已略去)



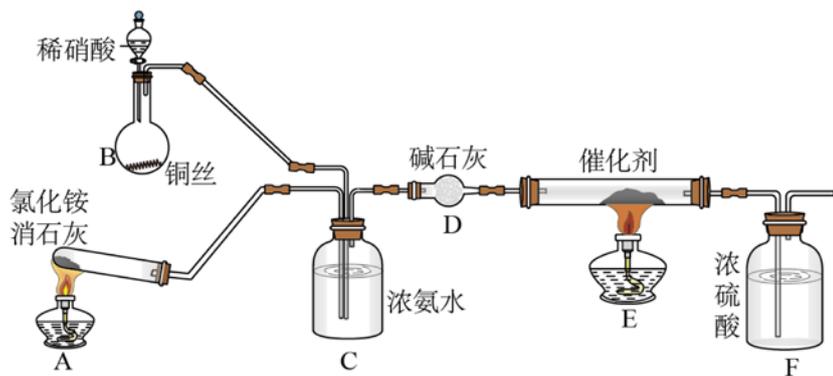
在试管 A 中加入少量碎瓷片，将三种原料依次加入试管 A 中，用酒精灯缓慢加热，一段时间后在试管 B 中得到乙酸乙酯粗品。

(1) 浓硫酸作用是_____，试管 A 中发生反应的化学方程式是_____。

(2) 若用 b 装置制备乙酸乙酯与 a 装置比，其缺点有_____。(写一条即可)



【典例 23】工业上可用氨催化吸收法处理 NO_x ，反应原理如下： $\text{NH}_3 + \text{NO}_x \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 。某化学兴趣小组模拟该处理过程的实验装置如图所示。

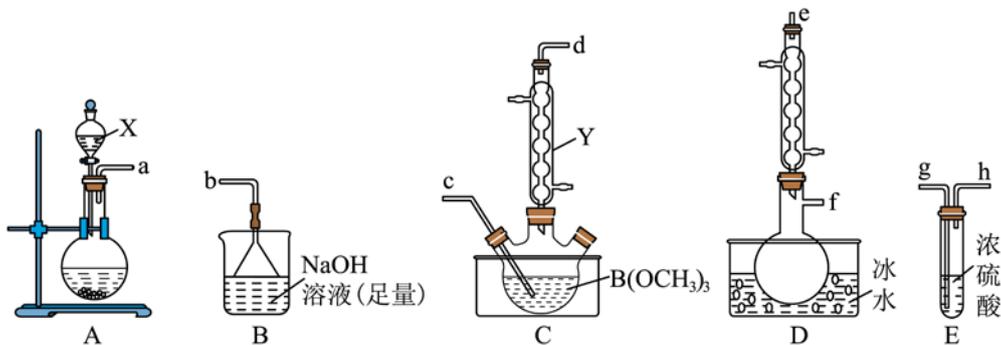


(4) 除能防止有毒气体的污染外，NaOH 溶液吸收法还具有的优点是_____，其缺点是_____。

答：得到化工产品，操作简单 若 NO 过量，则不能被全部吸收

分析：用氢氧化钠吸收氮氧化物能将有毒气体转化为无毒物质，防止有毒气体的污染，操作简便，同时产物为盐，可回收作化肥；缺点是消耗强碱，生成盐，不经济，且若 NO 过量，则不能被全部吸收。

【典例 24】三氯化硼是有机反应的重要催化剂，实验室用硼酸三甲酯 [$\text{B}(\text{OCH}_3)_3$] 与氯气在 $65^\circ\text{C} \sim 75^\circ\text{C}$ 下反应制备三氯化硼，还生成 CO 和另外一种物质，实验装置如图(夹持仪器已略)。



已知：① $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ 、 BCl_3 均极易溶于水，易与水反应，沸点分别为 $68^\circ\text{C} \sim 69^\circ\text{C}$ 、 12.5°C 。

② $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) > K_{\text{sp}}(\text{AgSCN})$ 。

- (1) 仪器 Y 的名称是_____；使用仪器 X 的第一步操作是_____。
- (2) 装置 A 烧瓶内固体药品的名称是_____。
- (3) 实验时按气流从左向右，装置中导管口的连接顺序为 a → g → h → _____ → b (填字母，装置可重复使用)。
- (4) 装置 C 中三颈烧瓶内主要反应的化学方程式为_____，宜采用的加热方法是_____。
- (5) 该实验中整套装置有一个明显的缺点是_____。

答：(1) 球形冷凝管 检查是否漏液

(2) 高锰酸钾(或次氯酸钠、氯酸钾等)

(3) c → d → e → f → g → h

(4)
$$\text{B}(\text{OCH}_3)_3 + 6\text{Cl}_2 \xrightarrow{65^\circ\text{C} \sim 75^\circ\text{C}} \text{BCl}_3 + 3\text{CO} + 9\text{HCl}$$
 水浴加热

(5) 未处理反应产生的有毒气体 CO，会对环境造成污染

分析：(2) 装置 A 是不加热制取氯气，用浓盐酸和高锰酸钾反应，烧瓶内固体药品的名称是：高锰酸钾；由分析可知：(3) 实验时按气流从左向右，装置中导管口的连接顺序为 a → g → h → c → d → e → f → g → h → b；(4) 装置 C 中三颈烧瓶内由 Cl₂ 和 B(OCH₃)₃ 反应得到 BCl₃、CO 和 HCl，主要反应的化学方程式为：



；由于加热温度在 65~75℃，可以采用水浴加热方式；该实验中整套

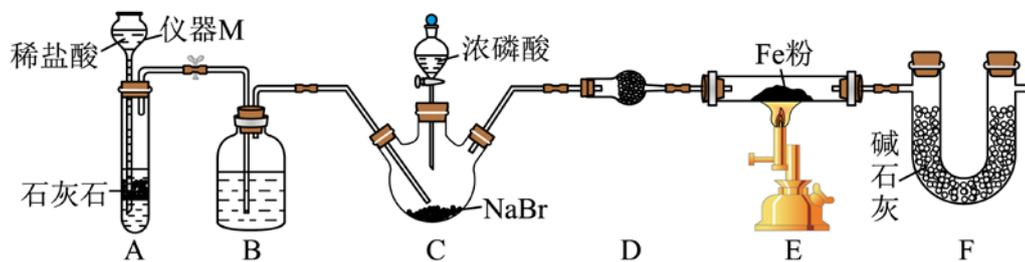
装置有一个明显的缺点是：未处理反应产生的有毒气体 CO，会对环境造成污染。

【典例 25】国家新版《生活用水标准》中新增了一氯胺(NH₂Cl)作为消毒剂，它是游泳池中独特的“氯”的味道来源。

一氯胺与氯气相比较为温和，与次氯酸盐相比更加稳定；在酸性、中性环境中会发生水解，可通过氨气与 NaClO 溶液在弱碱性条件下制得。有人指出，一氯胺用作水处理剂也有不足，请从绿色化学角度分析其作为水处理剂的缺点：_____。

答：一氯胺作为水处理剂反应后增大水中 N 的含量，会导致水体富营养化

【典例 26】溴化亚铁(FeBr₂)是棕黄色易潮解的固体，可由 Fe 与 HBr 在高温下反应生成。某研究性学习小组设计如下实验装置制备少量的 FeBr₂。



已知：高温时 FeBr₃ 会快速分解为 FeBr₂。

回答下列问题：

(1) A 中仪器 M 的名称是_____，B 中所盛试剂为_____溶液；D 中所装固体是_____ (填化学式)。

(2) F 中碱石灰的作用是_____。

(3) 实验开始时用 A 装置产生的气体排出体系内的空气，其原因合理的有_____ (填标号)。

- a. 防止铁粉被 O₂ 氧化 b. 防止 FeBr₂ 潮解 c. 防止爆炸

(4)该装置的缺点是_____。

答：(1) 长颈漏斗 饱和 NaHCO_3 CaCl_2 或 P_2O_5

(2) 吸收未反应的 HBr ，并防止空气中的水蒸气进入 E 装置

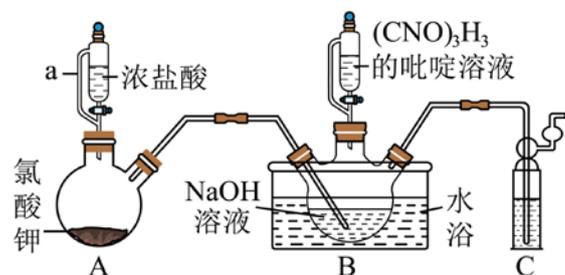
(3) abc

(4) 无处理尾气中的氢气的装置

分析：(1) 由装置图可知仪器 M 为长颈漏斗；根据分析可知装置 B 中盛放的是饱和的 NaHCO_3 溶液，除去 CO_2 中的 HCl ；干燥管 D 的作用是干燥 CO_2 及 HBr ，故使用 CaCl_2 或 P_2O_5 ；(2) 根据分析可知，装置 F 的作用是尾气吸收，即吸收未反应的 HBr 并防止空气中的水蒸气进入装置 E；(3) 空气中存在 O_2 ，可将铁粉氧化，同时空气中存在水蒸气， FeBr_2 易潮解，反应过程中还会生成 H_2 ，装置中存在 O_2 会有爆炸的风险，因此在反应前应利用 CO_2 排出体系中的空气，答案选 abc ；(4) 铁粉与 HBr 反应的过程中会生成 H_2 ，该装置中没有处理 H_2 的装置，故装置的缺点是无处理尾气中的 H_2 的装置。

【典例 27】二氯异氰尿酸钠 $[(\text{CNO})_3\text{Cl}_2\text{Na}]$ ， $M=220 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 是一种高效广谱杀菌消毒剂，常温下为白色固体，难溶于冷水。实验室中，先向 NaOH 溶液通入 Cl_2 产生高浓度 NaClO 溶液，再与氰尿酸 $[(\text{CNO})_3\text{H}_3]$ 吡啶溶液反应制备二氯异氰尿酸钠，并测其纯度。

已知： $2\text{NaClO} + (\text{CNO})_3\text{H}_3 = (\text{CNO})_3\text{Cl}_2\text{Na} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$ ，该反应为放热反应。



回答下列问题：

(1) 装置 A 中仪器 a 的名称_____，装置 B 需要_____ (“热水浴”或“冰水浴”) 进行控温。

(2) 装置存在一处缺陷，会导致装置 B 中 NaOH 的利用率降低，改进方法是_____。

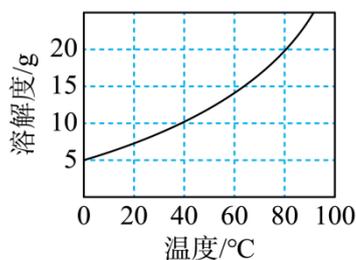
答：(1) 恒压滴液漏斗 冰水浴

(2) 在装置 A、B 之间增加盛有饱和食盐水的洗气瓶

分析：(1) 装置 A 中仪器 a 的名称是恒压滴液漏斗；装置 B 中生成 NaClO ，若温度太高会生成更高价态的氯酸盐，故装置 B 需要冰水浴；(2) 由于盐酸挥发的 HCl 也会与 B 中的 NaOH 反应，导致 NaOH 的利用率降低，改进方法是在装置 A、B 之间增加盛有饱和食盐水的洗气瓶。

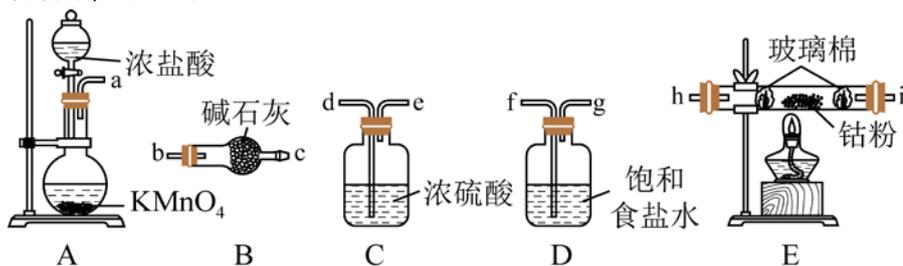
【典例 28】 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 是合成其他含钴配合物的重要原料，可由金属钴及其他原料制备。

已知：① Co^{2+} 在 $\text{pH}=9.4$ 时恰好完全沉淀为 $\text{Co}(\text{OH})_2$ ；② 不同温度下 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 在水中的溶解度如图所示。



(一) CoCl_2 的制备

CoCl_2 易潮解, Co(III) 的氧化性强于 Cl_2 , 可用金属钴与氯气反应制备 CoCl_2 。实验中利用如图装置(连接所用橡胶管省略)进行制备。



(1)用图中装置组合制备 CoCl_2 , 连接顺序为 $a \rightarrow$ _____ (填小写字母); 装置 A 中盛放浓盐酸的仪器名称 _____, 装置 B 的作用是 _____。

(二) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 的制备

I. 向 100 mL 锥形瓶内加入 4.5 g 研细的 CoCl_2 、3 g 氯化铵和 5 mL 水, 加热溶解后加入 0.3 g 活性炭作催化剂

II. 冷却后加入浓氨水混合均匀, 控制温度在 10°C 以下, 并缓慢加入 $10\text{mL H}_2\text{O}_2$ 溶液

III. 在 60°C 下反应一段时间后, 经过 _____、_____、过滤、洗涤、干燥等操作, 得到 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 晶体

(2)在步骤 II 加入浓氨水前, 需在步骤 I 加入 NH_4Cl 的原因: ① NH_4Cl 溶于水电离出 NH_4^+ , 使 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离平衡逆向移动, 增大 $c(\text{NH}_3)$; ② _____。

(3)步骤 II 加入 H_2O_2 溶液时, 需控制温度在 10°C 以下并缓慢加入的目的:

①控制反应速率; ② _____。

(4)制备 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 的总反应的化学方程式为 _____。

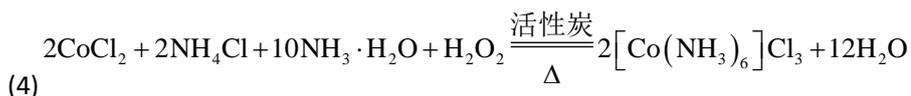
(5)步骤 III 中的操作为 _____、_____。

【答案】(1) $f \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow h \rightarrow i \rightarrow b \rightarrow c$ 分液漏斗 吸收未反应完的 Cl_2 防止污染空气, 并且防止

空气中水蒸气进入装置 E 使 CoCl_2 潮解

(2)防止加入氨水时溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 过大, 生成 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 沉淀(或氯化铵水溶液显酸性, 抑制 Co^{2+} 水解)

(3)防止温度过高使 H_2O_2 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 分解



(4)

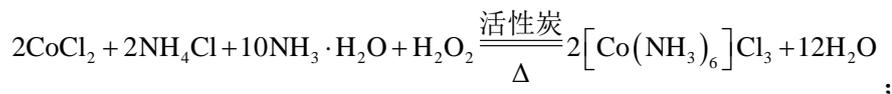
(5) 趁热过滤 冷却结晶

分析：(1) 装置 A 用于制备 Cl_2 ，装置 D 用于除去 Cl_2 中的 HCl ，装置 C 用于干燥 Cl_2 ，装置 E 用于制备 CoCl_2 ，装置 B 的作用是防止多余的氯气污染空气，同时防止空气中的水蒸气进入装置 E，使 CoCl_2 潮解，故连接顺序为 $\text{A} \rightarrow \text{D} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{E} \rightarrow \text{B}$ ，接口顺序为 $\text{a} \rightarrow \text{f} \rightarrow \text{g} \rightarrow \text{d} \rightarrow \text{e} \rightarrow \text{h} \rightarrow \text{i} \rightarrow \text{b} \rightarrow \text{c}$ ；装置 A 中盛放浓盐酸的仪器名称为分液漏斗；装置 B 为球形干燥管，作用为：吸收未反应完的 Cl_2 防止污染空气，并且防止空气中水蒸气进入装置 E 使 CoCl_2 潮解；

(2) NH_4Cl 溶于水电离出 NH_4^+ ，能使 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离平衡逆向移动，进而可以抑制 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离，防止加入氨水时溶液中 $\text{c}(\text{OH}^-)$ 过大，生成 $\text{Co}(\text{OH})_2$ 沉淀，有利于 NH_3 的配位；

(3) H_2O_2 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 受热易分解，步骤 II 中控制温度在 10°C 以下并缓慢加入 H_2O_2 溶液是为了控制反应速率，防止温度过高使 H_2O_2 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 分解；

(4) 在题给制备反应中， H_2O_2 是氧化剂，根据得失电子守恒、原子守恒可得总反应的化学方程式为：



(5) 根据已知信息②可知， $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 在水中的溶解度随着温度的升高而增大，应先趁热过滤除去活性炭等杂质，再经冷却结晶、过滤、洗涤、干燥等操作得到 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 晶体。